

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS  
EXACTAS, FISICAS Y NATURALES

---

HISTORIA DE LA CIENCIA



# HISTORIA DE LA PALEONTOLOGIA

BIOESTRATIGRAFIA Y BIOCRONOLOGIA:  
SU DESARROLLO HISTORICO

S. FERNANDEZ LOPEZ

M A D R I D

1 9 8 8

Curso de Conferencias sobre Historia de la Paleontología (1987).  
Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid.  
Historia de la Ciencia, Historia de la Paleontología (1988): 185-215.

## RESUMEN

Desde principios del siglo XIX hasta la actualidad, numerosos conceptos de interés cronológico han sido desarrollados en Geología. Y, a fin de obtener un marco de referencia temporal en el cual sea posible expresar la Historia de la Tierra, varios sistemas conceptuales de clasificación han sido justificados con criterios paleontológicos. En general, dichos sistemas conceptuales difieren entre sí por sus presupuestos epistemológicos y su metodología, a veces también por sus objetos de referencia y sus objetivos particulares. Esta diversificación de sistemas conceptuales de clasificación se hizo necesaria al aumentar las clases de objetos estudiados y de criterios clasificatorios empleados; pero dicha diversificación conceptual no ha estado acompañada de una diversificación lingüística de los correspondientes términos clasificatorios y, por consiguiente, son frecuentes los casos de homonimia. Así por ejemplo, el término biozona ha sido utilizado para referir objetos de distinta naturaleza: cuerpos rocosos actuales y entidades biológicas del pasado. Esta arbitrariedad en el uso del término biozona no sólo es debida a que se trata de un concepto de clase cuya significación depende del sistema conceptual de clasificación en el que sea empleado, sino también a la falta de resolución conceptual entre los fósiles y los organismo del pasado. La ambigüedad del término organismo fósil ha hecho que también sean discutibles los significados originales de otros términos relacionados, por ejemplo los términos bioestratigrafía y biocronología. Las numerosas polémicas suscitadas durante más de un siglo respecto al significado del término (bio-)zona son indicativas de la complejidad de estos temas, y no hay indicios de que tengan una solución sencilla. Pero, si se desea respetar la prioridad nomenclatural, la Bioestratigrafía debe ser entendida como Paleontología aplicada, en tanto que la Biocronología debe seguir siendo Paleontología básica o pura.

# BIOESTRATIGRAFIA Y BIOCRONOLOGIA: SU DESARROLLO HISTORICO

SIXTO FERNANDEZ LOPEZ \*

## INTRODUCCION

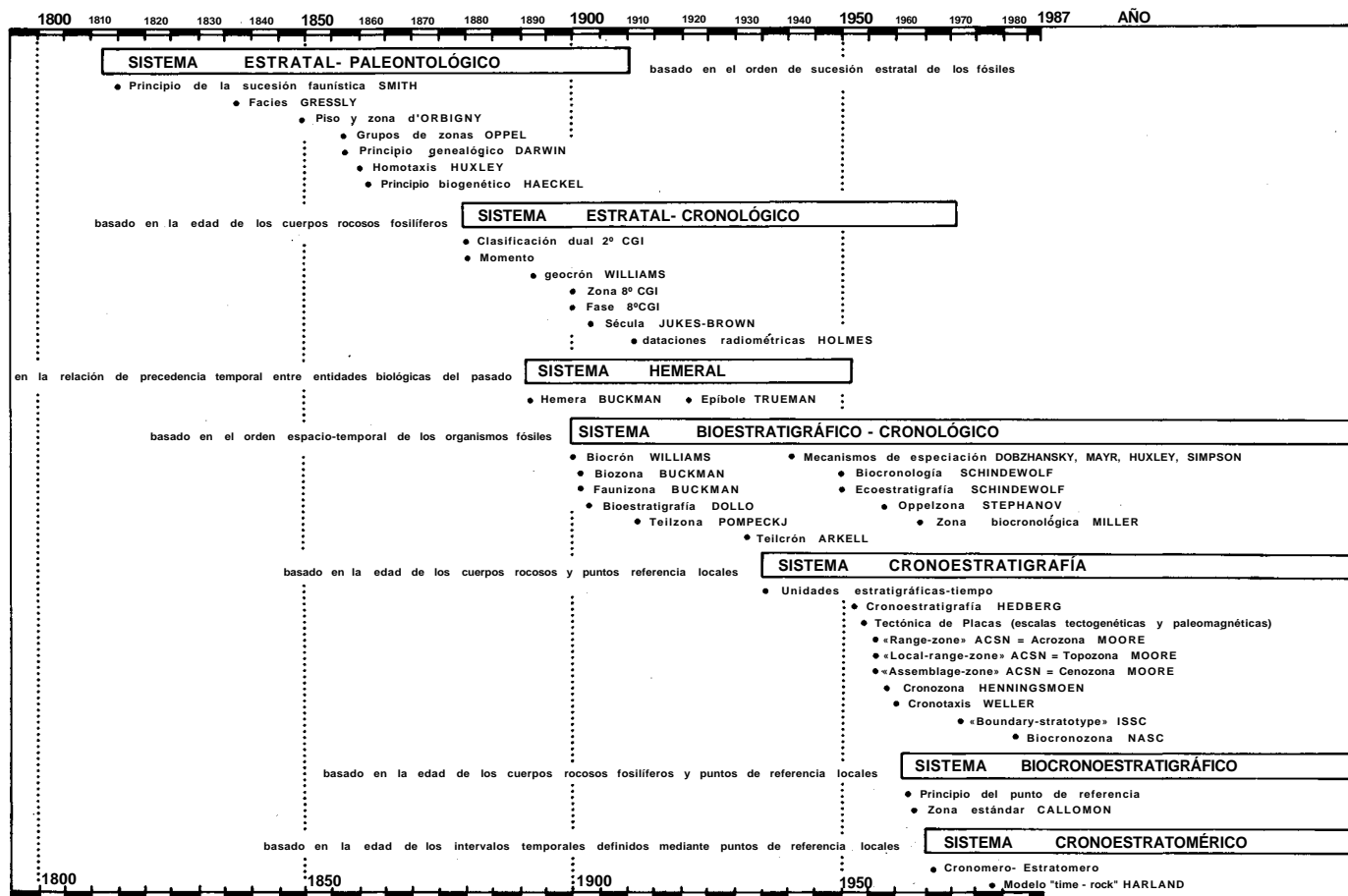
Una de las tareas fundamentales en Paleontología es averiguar las relaciones espacio-temporales entre organismos del pasado. Sin embargo, las investigaciones llevadas a cabo con este objetivo suelen ser llamadas bioestratigráficas y/o biocronológicas porque no suele hacerse una clara distinción entre Bioestratigrafía y Biocronología. Numerosos problemas de demarcación conceptual han surgido respecto a estos dos campos científicos de investigación durante la segunda mitad del presente siglo, y todavía no se ha logrado una solución unánimemente aceptada. Además, otros sistemas de clasificación han sido desarrollados en Geología para obtener un marco de referencia temporal en el que sea posible expresar la Historia de la Tierra. Concretamente, la Bioestratigrafía y la Biocronología están estrechamente relacionadas con la Cronoestratigrafía y la Geocronología. Ahora bien, como intentaremos mostrar en los próximos apartados del presente trabajo, muchos de los problemas aparentes pueden ser resueltos teniendo en cuenta el desarrollo histórico de los principales sistemas conceptuales de clasificación que han sido utilizados para justificar la Historia de la Tierra.

## 1. SISTEMA ESTRATAL-PALEONTOLOGICO

Algunas posibles relaciones entre los cuerpos rocosos fosilíferos y los seres vivos del pasado fueron tratadas en la antigüedad y, con mayor énfasis, durante los siglos XVI y XVII; por ejemplo, en los trabajos de Leonardo DE VINCI (1508), Georgius AGRICOLA (1546), Conrad GESSNER (1558, 1565), Robert HOOKE (1668) y Nicolaus STENO (1669). Pero fue al final del siglo XVIII cuando el término Historia de la Tierra comenzó a ser justificado haciendo referencia a los fósiles. Los naturalistas empezaron a descubrir que todos los fósiles, así como los cuerpos rocosos en que se encuentran, no son de la misma antigüedad. Esta idea fue tratada por Georges Louis Leclerc, conde de BUFFON, en 1778. Johann Wolfgang von GOETHE (1782) y Ernst Friedrich von SCHLOTHEIM (1813) también destacaron que muchos fósiles podrían servir para determinar la antigüedad de las ca-

pas (cf. MARTIN, 1982; LANGER, 1982). A principios del siglo XIX numerosos naturalistas admitieron la existencia de discontinuidades sedimentarias sucesivas, consideraron los sedimentos superpuestos como representativos de tiempos diferentes por tener distintos fósiles, y desarrollaron una serie de conceptos para establecer unidades de distinta antigüedad. Empezaba a ser plausible la idea de que las especies han existido durante un tiempo limitado, y que muchas especies del pasado están extinguidas en la actualidad; en consecuencia, los diferentes tipos de organización que presentan los seres vivos no han debido ser simultáneos, sino que debieron aparecer sucesivamente según su grado de complejidad creciente. Por ello, el estudio de los fósiles, que hasta el comienzo del siglo XIX había tenido como único objetivo científico incrementar los conocimientos sobre las diferentes clases de seres vivos, pasó a tener nuevos objetivos cognoscitivos y prácticos. Por primera vez, los naturalistas consideraron la importancia de reconstruir el orden de sucesión temporal de las diferentes clases de seres vivos que han poblado la Tierra, así como el interés de establecer y confirmar el orden de sucesión y la edad relativa de los sedimentos fosilíferos. Al menos para algunos de estos naturalistas no sólo la Tierra sino también el llamado mundo orgánico tenían historia. Con estos criterios comenzó a desarrollarse un sistema de clasificación basado en el orden de sucesión estratal de los fósiles, que hemos denominado "sistema estratal-paleontológico" (cf. figura 1).

Estas ideas encontraron gran apoyo en los trabajos prácticos de identificación, ordenación y clasificación de los estratos mediante fósiles que fueron llevados a cabo por William SMITH (1813, 1815, 1816, 1817) en Inglaterra. Dicho autor expresó que hay una ley según la cual los mismos estratos han sido encontrados siempre en el mismo orden de superposición y contienen los mismos fósiles peculiares; y ésta es la proposición que ha sido mencionada por numerosos autores posteriores como el "principio de la sucesión faunística". Ahora bien, la idea de que los fósiles permiten clasificar las rocas correspondientes de acuerdo con su edad relativa, incluso si dichas rocas tienen caracteres líticos diferentes y pertenecen a distintas cuencas sedimentarias, sólo fue utilizada a partir del segundo decenio del siglo XIX. Cabe citar a este respecto las obras de George CUVIER (1812, 1825, 1830), Alexandre BRONGNIART (1812, 1822, 1823), Adolphe Théodore BRONGNIART (1823, 1829) y Gerard Paul DESHAYES (1830), en Francia; Heinrich Georg BRONN (1931) en Alemania; y Charles LYELL (1833) en Inglaterra. En estos trabajos ya se dan argumentos a favor de que cuanto más antigua es una fauna mayores son sus diferencias con las faunas actuales; que el número total de géneros y especies aumenta en los horizontes sucesivos desde los más antiguos hasta los más recientes; y que el número de especies actuales representadas entre los fósiles es sucesivamente mayor en los horizontes más recientes, en tanto que el número de especies extinguidas pasa a ser proporcionalmente mayor. A su vez, estas generalizaciones contribuyeron a modificar el concepto que se tenía de la Historia de la Tierra. Según CUVIER, los fósiles constituyen jalones del tiempo geológico; son los "monumentos de las revoluciones pasadas" que hay que aprender a restaurar y a descifrar; sólo hay una historia, la historia de la Naturaleza, que unas veces es contada por las piedras y otras por los fósiles (cf. JACOB, 1970, p. 175). Y, de acuerdo con la definición original de LYELL (1832, p. 1), la Geología fue establecida como la ciencia que investiga los cambios sucesivos que han tenido lugar en los reinos orgánico e inorgánico de la naturaleza.

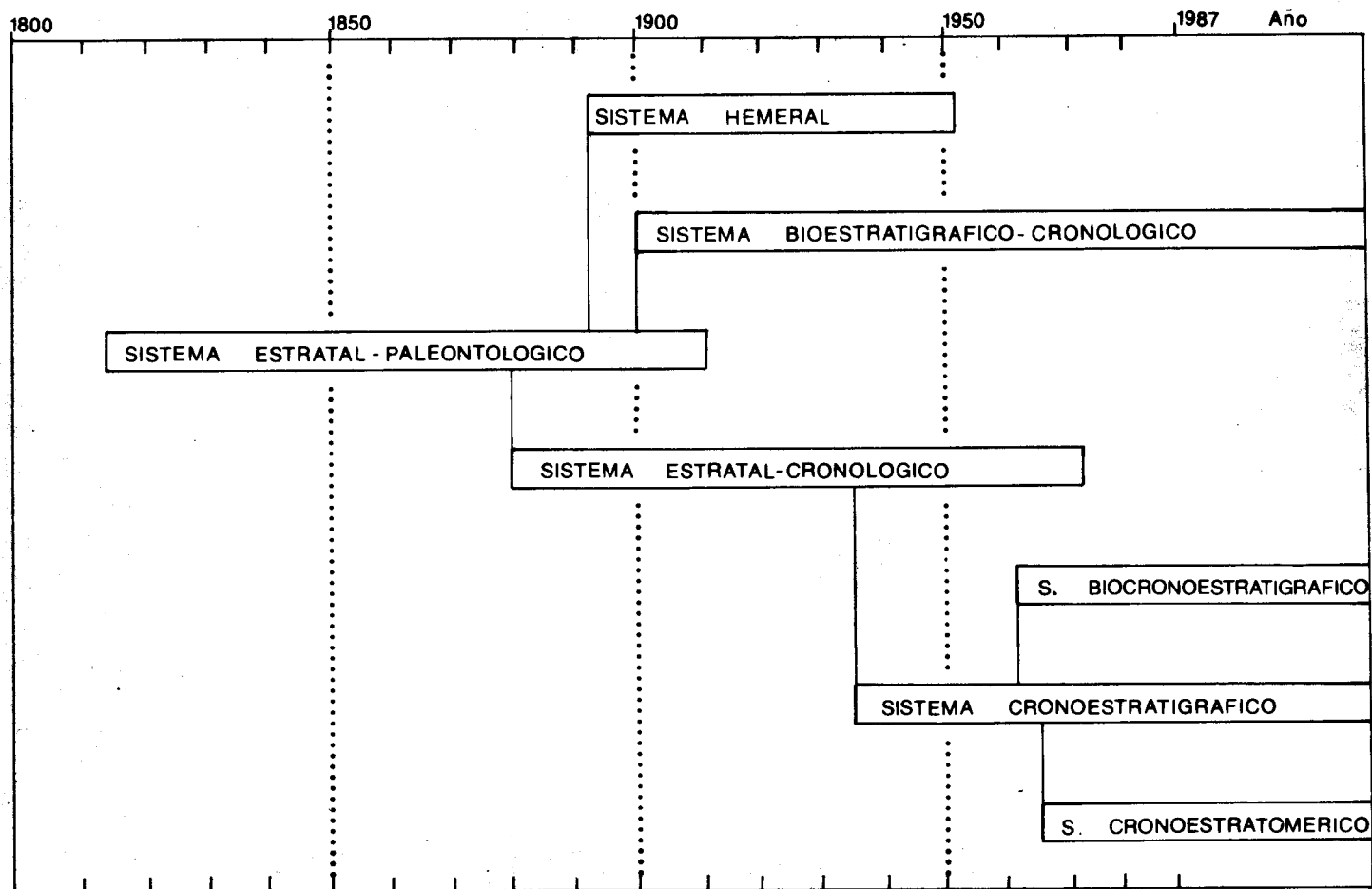


**Figura 1.-** Orden de sucesión temporal entre varios sistemas de clasificación, y algunos conceptos relacionados, utilizados para justificar la Historia de la Tierra.

Pocos años más tarde, algunas de las generalizaciones referentes a los fósiles fueron matizadas al ser tratado con cierto detalle el concepto de facies. Amant GRESSLY (1837, 1848) y Constant PREVOST (1838), utilizando diferentes elementos de juicio, defendieron un par de ideas muy importantes para el análisis y la interpretación de la Historia de la Tierra. Los materiales sedimentarios de igual carácter lítico no han de ser necesariamente de la misma época geológica; en cada época pudieron formarse sedimentos de distinto origen (pelágicos, litorales o terrestres, por ejemplo). Además, la distribución de los diferentes tipos faunísticos puede estar correlacionada con los distintos tipos de depósitos. Y según estos dos autores, los depósitos del mismo carácter lítico, aunque de diferente época, pueden contener fósiles muy similares; es decir, los depósitos de igual carácter lítico que contienen fósiles similares pueden ser de distinta edad.

El concepto de facies suscitó muchas controversias sobre la validez de los fósiles para reconstruir la Historia de la Tierra; sin embargo, en los años cuarenta del siglo pasado fue establecida una clasificación tripartita y fueron propuestos tres términos que siguen siendo utilizados en la actualidad: Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. Adam SEDGWICK (1838) propuso el primero de estos términos. Johan PHILLIPS (1841), autor de los otros dos, justificó las tres divisiones de la clasificación con criterios exclusivamente paleontológicos: el Paleozoico correspondería a la Era de los invertebrados y peces, el Mesozoico equivaldría a la Era de los reptiles, y el Cenozoico a la Era de los mamíferos.

Entre 1840 y 1855, Alcide d'ORBIGNY publicó varios volúmenes de la "Paléontologie française", con estudios sobre cefalópodos jurásicos y cretácicos, además de braquiópodos, rudistas, equinodermos y briozoos. En otros dos trabajos, el "Course Elémentaire de Paléontologie" (1849-1852) y el "Prodrôme de Paléontologie et de Géologie Stratigraphiques" (1850-1852), trató la clasificación de las rocas estratificadas y dio su visión de la Paleontología Estratigráfica. Teniendo en cuenta criterios paleontológicos, distinguió seis períodos o "terrains" y subdividió los cinco primeros períodos en veintisiete pisos o "étages". El término "étage" había sido tomado del lenguaje común y utilizado en los trabajos geológicos por diferentes autores franceses durante la primera mitad del siglo XIX. Es difícil saber cuál era el significado que daba d'ORBIGNY al término piso, pero este autor fue el primero en utilizar criterios exclusivamente paleontológicos para justificar la clasificación de las rocas estratificadas, teniendo en cuenta su edad; y al llevar a cabo dicha clasificación empleó el concepto de piso. A tenor de las ideas expuestas en sus libros, los pisos son la expresión de las divisiones que la naturaleza ha delineado a través de toda la Tierra, y estas divisiones son isócronas en cualquier parte del mundo donde puedan ser identificados mediante sus faunas características. Los animales están repartidos por pisos, según las épocas geológicas. Cada una de estas épocas presenta, en la superficie del Globo, una fauna distinta. Las mismas formas genéricas y un número más o menos grande de especies idénticas, comunes en cualquier parte, prueban su completa contemporaneidad. El final de los pisos está marcado por extinciones catastróficas y revoluciones geológicas; después de cada revolución geológica fueron creados diferentes seres que poblaron la superficie terrestre. Veinti-



**Figura 2.-** Orden de sucesión temporal y relaciones conceptuales entre diferentes sistemas de clasificación utilizados para justificar la Historia de la Tierra.

siete o veintiocho de estas revoluciones geológicas tendrían que haber ocurrido para explicar las veintisiete faunas sucesivas distinguidas por él en numerosas localidades francesas. A cualquier especie, género, clase u orden de animal, por ejemplo, como eran conocidos mediante los datos paleontológicos disponibles, le correspondería una duración limitada y su distribución geográfica pudo ser más o menos extensa; en consecuencia, a cualquier piso le correspondería una duración positiva, pero se desconocía si era positivo el valor de la duración entre cualquier par de pisos consecutivos. Para cada uno de los pisos citó lugares diferentes, a veces incluso indicó cual era el mejor de ellos, y formaciones particulares que habrían suministrado una fauna que le permitiera reconocer su pertenencia al mismo piso.

Por otra parte, al igual que el término piso, el término zona ya había sido utilizado por otros geólogos de modo más o menos arbitrario. D'ORBIGNY (1849-1852) designó con el término zona un concepto cuya utilización requería de un número limitado de especies elegidas entre aquellas que tienen mayor abundancia y frecuencia relativa a través del piso que caracterizan, y que tienen una amplia distribución geográfica, al margen de los aspectos lógicos de las capas en que se encuentran.

Según la interpretación hecha por varios autores (cf. MONTY, 1968; ELLENBERGER, 1981, p. 11) las zonas fueron utilizadas por d'ORBIGNY sólo como un instrumento conceptual para la identificación de los pisos; pero otros especialistas han afirmado que los términos piso y zona fueron utilizados por d'ORBIGNY como sinónimos. Lo cierto es que utilizó el término zona para hacer referencias exclusivamente paleontológicas. Ahora bien, es importante señalar que los significados de estos dos términos fueron modificados cuando, en su "Course Élémentaire de Paléontologie ..." (1852), pasó a considerar las zonas como subdivisiones de los pisos. Esta enmienda de los significados originales y de las relaciones entre los conceptos de piso y de zona ha sido una de las principales fuentes de discrepancia entre los geólogos posteriores que han intentado averiguar el significado de dichos términos. Para los propósitos del presente trabajo, las ideas de d'ORBIGNY que hemos mencionado ponen de manifiesto que sus conceptos de piso y zona sólo eran significativos en el contexto creacionista y catastrofista utilizado para proponerlos. Por lo tanto, al menos a partir de 1853, cualquier uso de estos dos términos que no requiera de teorías creacionistas y catastrofistas respecto a la Historia de la Tierra sólo utilizaría homónimos más recientes.

Las ideas de d'ORBIGNY ejercieron gran influencia en el pensamiento de los geólogos franceses y suizos de la segunda mitad del siglo XIX. Sin embargo, en Inglaterra y Alemania pasaron varios lustros antes de que comenzaran a ser utilizados los términos piso y zona frecuentemente empleados en la bibliografía francesa. La diferente valoración del concepto de piso como instrumento para identificar y clasificar rocas estratificadas de cualquier región del mundo fue debida, entre otros motivos, a que en distintos países europeos y en América ya eran de uso habitual otras unidades estratigráficas regionales y, además, utilizar los pisos obligaba a afrontar las dificultades de las determinaciones y las clasificaciones paleontológicas (cf. HOLDER, 1983; HALLAM, 1983; LAFFITE, 1972, RUDWICK, 1972). Pero la diversidad de clasificaciones estratigráficas empleadas a mediados del siglo



XIX también se debía a la rivalidad entre diferentes concepciones filosóficas y metodológicas respecto a la Historia de la Tierra. Téngase en cuenta, por ejemplo, que d'ORBIGNY expuso sus ideas de Paleontología Estratigráfica dieciocho años después de aparecer la primera edición de los "Principios de Geología" defendidos por LYELL. Aunque en los trabajos de d'ORBIGNY se mencionan explícitamente algunos conceptos de LYELL, dichos autores desarrollaron dos concepciones radicalmente diferentes de la Historia de la Tierra.

Heinrich Georg BRONN (1835-38, 1858, 1861) y Friedrich August QUENSTEDT (1851-1852, 1856, 1856-1858, 1886-1888) tampoco aceptaron las ideas catastrofistas de d'ORBIGNY. Estos dos geólogos alemanes criticaron las ideas de sus adversarios sobre la invariabilidad de las especies, y la neta distinción entre períodos sucesivos de creación separados entre sí por grandes cataclismos terrestres. QUENSTEDT, basándose en sus estudios detallados sobre el Jurásico en el sur de Alemania, argumentaba que muchos fósiles no tienen una distribución restringida a los límites de cada uno de los pisos propuestos por d'ORBIGNY y que, por tanto, no había evidencias de extinción catastrófica al final de cada piso. QUENSTEDT no realizó investigaciones en otras regiones europeas; pero sí las hicieron varios de sus discípulos, entre ellos Albert OPPEL.

OPPEL estudió numerosas especies jurásicas, sobre todo de ammonites, en diversas localidades de Alemania, Suiza, Francia e Inglaterra. Y, con la totalidad de los datos paleontológicos que obtuvo, estableció treinta y tres zonas sucesivas, publicadas en su libro "Die Juraformation Englands, Frankreichs und des südwestlichen Deutschlands, ..." (1856-1858). No dio una definición del término zona, pero indicó varias reglas que había seguido para establecer las sucesivas zonas que proponía. Estas reglas podemos agruparlas en tres clases diferentes según su orden de aplicación:

- 1) *Analizar la distribución vertical de cada especie individual en las localidades más variadas a investigar*, ignorando el desarrollo lítico de las capas. A todas las especies que están asociadas en una localidad particular no les corresponde necesariamente la misma distribución vertical. Una vez estudiadas las diversas localidades, cada especie individual puede tener una distribución vertical más corta o más larga que otra especie; y en muchos casos hay solapamiento entre los rangos de distribución vertical de varias especies.
- 2) *Identificar aquellas zonas que, por la presencia constante y exclusiva de ciertas especies, se diferencian de sus adyacentes como horizontes distintivos*. Muchas especies están distribuidas en dos o más zonas, pero utilizando las especies que aparecen por primera vez o las que lo hacen por última vez se puede demarcar las zonas. El reconocimiento de la zona depende de la presencia de ciertas especies; por tanto, las zonas y sus correspondientes especies tienen límites geográficos más allá de los cuales no pueden ser reconocidas. Para dar nombre a las sucesivas zonas pueden utilizarse los nombres de especies fósiles (no sólo de ammonites sino, por ejemplo, de lamelibranquios, braquiópodos, equinodermos y gasterópodos) y también sirven para estos fines otros tipos de nombres como, por ejemplo, los toponímicos.

- 3) *Obtener un perfil ideal cuyas subdivisiones de igual edad en las diferentes localidades siempre están caracterizadas por las mismas especies.* Cuanto más meticolosamente sean examinadas las especies, mayor será el número de subdivisiones que puedan ser reconocidas.

En la obra de OPPEL no están claramente expresadas las relaciones entre las subdivisiones del "perfil ideal" y las zonas previamente identificadas. Más aún, entre los especialistas que se han ocupado de este tema, no hay acuerdo respecto a si OPPEL pretendía denotar cuerpos rocosos o intervalos temporales; no obstante, teniendo en cuenta los comentarios hechos por él, se puede afirmar que con el término perfil ideal no pretendía denotar una sucesión local paleontológica o lítica. Además, en el cuadro de la página 822, que representa la correspondencia entre pisos (o grupos de zonas) y zonas (esto es, complejos de capas paleontológicamente determinables), se hace constar que la "*Zone der Diceras arietina*" no puede ser incluida o atribuida al "Oxford-gruppe" ni al "Kimmeridge-gruppe". Por consiguiente, en muchos casos las zonas pudieron ser agrupadas y dichas agrupaciones fueron equiparadas a pisos, pero las zonas no pudieron ser concebidas por OPPEL como subdivisiones de los pisos propuestos por d'ORBIGNY. Las zonas propuestas por OPPEL constituían las unidades elementales de un nuevo sistema de clasificación en el cual los límites entre unidades consecutivas no representaban duraciones de valor positivo.

Por otra parte, las ideas expuestas por Charles DARWIN (1859) en su libro "El origen de las especies ...", aunque estaban evidenciadas por numerosos hechos actuales, también eran relevantes para otros hechos argumentados por los paleontólogos. Así, por ejemplo, el principio de irreversibilidad de la evolución orgánica daba cuenta de la mayor complejidad de los fósiles más recientes, y el principio de continuidad era coherente con los resultados ofrecidos por OPPEL. La zonación propuesta por este autor para el Jurásico, en la cual no se contemplaba la existencia de repetidos intervalos temporales sin vida sobre la Tierra, era congruente con las ideas darwinistas. En los años sesenta y setenta del siglo XIX, la teoría de la descendencia de DARWIN pasó a ser casi universalmente aceptada como las bases más naturales para la clasificación de los organismos (cf. ZITTEL, 1901). Según DARWIN, "toda verdadera clasificación es genealógica; la comunidad de descendencia constituye el oculto lazo de unión que los naturalistas han buscado siempre sin tener conciencia de él. Ya no se trata, pues, de encontrar algún desconocido plan que la creación ha seguido, o una enunciación de proposiciones generales, o el simple hecho de reunir o separar objetos más o menos similares". Los darwinistas consideraron que el llamado principio genealógico debía ser el fundamento de la clasificación paleontológica. Por este motivo, fueron investigadas series continuas de formas a través de niveles estratigráficos sucesivos, y el trabajo de HILGENDORF (1863, 1866) fue uno de los pioneros; se postularon algunos paralelismos de la ontogenia con la sucesión de formas fósiles relacionadas, por ejemplo el principio biogenético de HAECKEL (1866); y se distinguieron varias provincias jurásicas, que según la interpretación de NEUMAYR (1872) correspondían a zonas climáticas diferentes. En definitiva, las investigaciones paleontológicas de la segunda mitad del siglo XIX abandonaron el estudio de las diversas clases sucesivas de organismos fósiles y se centraron cada vez más en los problemas de las relaciones filogenéticas. En este nuevo campo de in-

vestigación alcanzaron particular renombre los trabajos de GAUDRY (1862-1867), WAAGEN (1864, 1869), KOWALEWSKY (1874), NEUMAYR y PAUL (1875). El orden de sucesión de las rocas fosilíferas dejó de ser exclusivamente relevante para las clasificaciones estratigráficas y pasó a ser considerado como uno de los datos fundamentales para la sistemática paleontológica. A partir de entonces, en las investigaciones paleontológicas no sólo fue necesario abordar los problemas de las relaciones temporales entre organismos del pasado, sino también aquellos relacionados con el grado de parentesco. La ordenación de los diferentes grupos de organismos en un árbol genealógico, es decir, la ordenación que DARWIN llamó proximidad por descendencia, es una relación biológica de precedencia temporal y de parentesco que ordena los diferentes grupos biológicos a lo largo de un eje temporal. De este modo, y por primera vez en la Historia de la Geología, se podía hacer referencia a un fenómeno continuo para justificar la edad de los cuerpos rocosos estratificados. Al menos algunos paleontólogos consideraron que la evolución orgánica era en última instancia el fundamento de su escala de tiempo basada en criterios paleontológicos, y que si los acontecimientos evolutivos son únicos en el tiempo entonces pueden ser utilizados para delimitar intervalos temporales (cf. BERRY, 1968, 1970; REIF, 1983). Entre los paleontólogos que aceptaron la teoría evolutiva, establecer y confirmar el orden de sucesión de los fósiles en los estratos no era suficiente para lograr una escala de tiempo, y sería necesario encontrar evidencias de la evolución orgánica. Las divisiones de la escala de tiempo así obtenida, mediante criterios paleontológicos, ya no estarían justificadas exclusivamente por la existencia de cuerpos rocosos superpuestos que contienen fósiles de distintas clases, sino también por acontecimientos históricos sucesivos, únicos e irrepetibles (cf. MEYER, 1878; LAPWORTH, 1878, 1879, p. 3).

Sin embargo, la difusión de las ideas evolucionistas, las nuevas hipótesis biológicas y los nuevos objetivos de las investigaciones paleontológicas obligaron a cambiar la metodología y a introducir nuevas hipótesis respecto a las relaciones entre los fósiles. Por ello, no faltaron geólogos que consideraran este nuevo enfoque de la Paleontología como problemático para la Estratigrafía. Thomas Henry HUXLEY, secretario de la Sociedad Geológica de Londres en 1862, publicó una célebre carta sobre "contemporaneidad geológica" en la que expuso el concepto de homotaxis. En dicha publicación afirmó que ni la Geología, ni la Paleontología, poseen un método que permita demostrar el sincronismo absoluto de dos estratos. Lo único que puede probar la Geología es que el orden local de sucesión de las faunas ha sido el mismo en áreas diferentes. Pero la similitud de ordenación - u homotaxis - no implica sedimentación sincrónica o identidad de fecha. Las provincias geográficas y las zonas pueden haber sido tan marcadamente distintas en la época paleozoica como en el presente, y aquellas apariciones repentinas de nuevos géneros y especies, que adscribimos a una nueva creación, pueden resultar simplemente por migración. Además, otros autores argumentaban que los estratos geográficamente distantes y en los cuales hay alguna especie idéntica han de ser de distinta edad debido al tiempo requerido para la migración desde una localidad a otra (cf. WOODWARD, S.P. 1856; WOODWARD, H.B. 1892).

La mayoría de los geólogos han reconocido la importancia del concepto de homotaxis expuesto por HUXLEY. Sin embargo, también se le ha reprochado el haber llevado su

argumentación hasta extremos injustificables; por ejemplo, cuando afirmó que una fauna y flora devónica en las Islas Británicas pudo haber sido contemporánea con la vida del Silúrico en Norte América y con una fauna y flora carbonífera en África. La escala de tiempo geológico entonces disponible todavía era muy imprecisa, pero algunos problemas de correlación temporal entre sucesiones estratigráficas muy distanciadas ya podían ser resueltos mediante la correlación temporal de sucesiones faunísticas locales. Es cierto que los pisos y las zonas tal como eran conocidos sólo tenían un valor regional; de hecho, numerosos geólogos investigaron y propusieron la existencia de nuevos pisos y zonas. Además, durante la segunda mitad del siglo XIX, los fenómenos de provincialismo llegaron a ser lo suficientemente conocidos como para aceptar que no se podría justificar una clasificación estratigráfica aplicable en cualquier región del mundo y cuyas unidades estuvieran caracterizadas a nivel específico por asociaciones de fósiles particulares. Por otra parte, varios paleontólogos consideraron importante señalar que no había razones para suponer que la desaparición de cualquier especie hubiera sido necesariamente repentina (cf. NEUMAYR, 1889, p. 282). Los geólogos reconocían que el rango de distribución vertical de cualquier especie varía ampliamente con las condiciones locales que prevalecieron durante la vida de la especie, y así su lugar en la columna estratigráfica varía con la distribución geográfica (WOODWARD, H.B. 1892; ROWE, 1899; WILLIAMS, H.S. 1905, p. 147). Es decir, las diferentes especies del pasado no guardan entre sí sólo un orden temporal, o un orden espacial, sino más bien un orden espacio-temporal. El desarrollo de la escala de tiempo geológico debería estar basado en última instancia en la evolución orgánica, si se quería lograr una síntesis espacio-temporal de la Historia de la Tierra. El artículo de HUXLEY y las influencias que ejerció la obra de d'ORBIGNY no pudieron impedir que numerosos paleontólogos usaran e intentaran desarrollar las ideas expuestas por OPPEL y DARWIN. En cualquier caso, la necesidad de analizar e interpretar detalladamente las sucesiones estratigráficas y las sucesiones faunísticas locales era algo aceptado por la mayoría de los geólogos, lo que después sería llamado método hipotético-deductivo pasó a ser cada vez más utilizado en las investigaciones paleontológicas, y cada vez era más evidente la conveniencia de utilizar un marco de referencia espacio-temporal para dar cuenta de los hechos históricos.

## 2. SISTEMA ESTRATAL-CRONOLOGICO

Durante los últimos decenios del siglo XIX, los defensores de las ideas creacionistas y catastrofistas eran minoría entre los geólogos, pero las diferencias en los presupuestos filosóficos, así como las discrepancias teóricas y metodológicas, se manifestaban por la diversidad y la arbitrariedad de los términos utilizados en las clasificaciones estratigráficas.

“La uniformidad de los informes geológicos con respecto a la nomenclatura y símbolos de los mapas” fue uno de los temas tratados durante el I Congreso Geológico Internacional celebrado en París en 1878. Con este objetivo se nombraron comisiones internacionales y comités nacionales para la elaboración de propuestas concretas. Durante el II Congreso Geológico Internacional, celebrado en Bolonia en septiembre-octubre de 1880, fueron tomados los primeros acuerdos internacionales sobre terminología estratigráfica. De es-

tos acuerdos cabe destacar la distinción entre términos estratales (grupo, sistema, serie, piso) y términos cronológicos (era, período, época, edad), así como las relaciones jerárquicas y equivalencias entre los conceptos correspondientes. El propósito de esta clasificación dual, con términos estratales y términos cronológicos, era evitar la confusión entre el tiempo real o el intervalo de tiempo geológico y las rocas formadas durante dicho intervalo temporal, para cualquier unidad establecida. Se instauraba así un nuevo sistema de clasificación basado en la edad de los cuerpos rocosos fosilíferos del registro estratigráfico, en vez de utilizar el orden de sucesión estratal de los organismos fósiles. Sin embargo, es importante destacar que todas las unidades internacionales de rocas fanerozoicas fueron justificadas con datos empíricos, y muchas de ellas fueron caracterizadas por sus fósiles. En este primer sistema jerárquico de clasificación estratigráfica aprobado por acuerdo internacional no se hizo referencia a la zona, aunque el comité suizo propuso la aprobación internacional del término estratigráfico zona y el de su equivalente cronológico (el término momento). La utilización de la zona como subdivisión del piso también fue preconizada en el Congreso de Berlín (1885) por el comité suizo y el comité francés. A este respecto muchos autores argumentaron que las zonas sólo podían ser utilizadas como agrupaciones establecidas para una división mayor y que, por lo tanto, cada región debería tener sus propios términos para dichas subdivisiones (WOODWARD, 1892; WILLIAMS, 1891). En el Código del VIII Congreso, celebrado en París, se consideró "fase" como el equivalente cronológico de la unidad llamada zona, y ambas unidades fueron situadas en el quinto orden del sistema de clasificación jerárquica (RENEVIER, 1901). En los "Comptes-rendus" de este congreso se encuentra la siguiente definición: "una zona es un grupo de capas, de un estatus inferior (al piso), caracterizado por uno o varios fósiles que le sirven de índice". Desde entonces, cinco categorías de un sistema de clasificación estratigráfico-cronológico fueron distinguidas internacionalmente. No obstante, diversas propuestas se hicieron al respecto y algunos nombres de estas categorías fueron modificados en congresos ulteriores. Por ejemplo, en 1903, JUKES-BROWNE, ignorando la propuesta internacionalmente aprobada en el congreso de París, sugirió el término *sécula* como equivalente cronológico del término zona.

Henry Shaler WILLIAMS (1893) fue otro de los autores de finales del siglo pasado que intentó establecer una escala de tiempo geológico basada en datos estratigráficos y paleontológicos, e introdujo como unidad de la escala el geocrón (unidad de tiempo cuya duración equivale a la del Período Eoceno). Después del descubrimiento de la radiactividad fueron realizadas las primeras dataciones radiométricas y, tras la publicación del primer trabajo de Arthur HOLMES sobre este tema en 1911, la Geocronología pasó a ser el nuevo campo de investigación que prometía ofrecer un sistema de referencia temporal válido para todas las investigaciones geológicas. Esta nueva ciencia llamada geocronología permitía expresar con valores numéricos la antigüedad de las unidades de la Escala Estratigráfica concebida durante el siglo XIX.

Durante el primer tercio del presente siglo, la mayoría de los paleontólogos consideraron como evidente que el rango de distribución vertical de un taxón en cualquier localidad sólo representa una parte de la duración total de existencia del taxón. Y los estratígrafos tenían otros motivos para dar cada vez más importancia al concepto de facies. La edad

de los cuerpos rocosos fosilíferos, en vez del orden de sucesión estratal de los fósiles, parecía ser un criterio más adecuado para justificar una cronología geológica. Estas circunstancias y la creciente necesidad de una escala temporal válida para la totalidad de los sistemas geológicos obligaron a tomar medidas operativas en los trabajos e informes geológicos regionales. Respecto al problema del tiempo geológico surgieron nuevas hipótesis de trabajo, basadas en conocimientos geológicos regionales que no exigían llevar a cabo una correlación temporal a escala mundial y que no estaban supeditados a los condicionamientos de las determinaciones taxonómicas. Durante la primera mitad del siglo XX, los geólogos partidarios de las ideas creacionistas eran la excepción, pero los catastrofistas fueron sustituidos por los llamados diastrofistas. Muchos autores aceptaron que los mejores criterios disponibles para la subdivisión del tiempo geológico eran los relacionados con movimientos orogénicos y epirogénicos; por ejemplo: discordancias, lagunas estratigráficas, transgresiones, regresiones y ciclos sedimentarios. Estos criterios daban unos resultados bastante optimistas al menos en algunas regiones (cf. CHAMBERLAIN, T.C. 1898, 1909, 1914; WILLIS, 1910; ULRICH 1911, 1916; SCHUCHERT, 1914, 1916, 1929, 1937; KLUPFEL, 1917, 1928; CHAMBERLAIN, R.T. 1935; MOORE, 1935; GRABAU, 1936; BULOW, 1943; SCHWINNER, 1944).

### 3. SISTEMA HEMERAL

Ocho años antes de que fueran tomados y publicados los acuerdos del VIII Congreso Geológico Internacional referentes al término zona, Sydney BUCKMAN (1893, pp. 480-482) ya había indicado el significado y las limitaciones que encontraba en el concepto de zona frecuentemente utilizado por los geólogos:

La unidad geológica para la correlación de los estratos ha sido hasta ahora la "zona". Sin embargo, gradualmente se ha caído en la cuenta de que es necesario incrementar el número de zonas o adoptar algunas modificaciones, si la verdadera secuencia faunística ha de ser expresada con la precisión que se requiere ahora (...) los estratos caracterizados por un conjunto de restos orgánicos, más o menos peculiares, han sido considerados como una zona (...) y la presencia de cualquiera de las especies conocidas como suficientemente peculiares de un horizonte dado es considerada para denotar la zona en localidades donde la especie índice está ausente. (...) el término zona es estrictamente estratigráfico. Nuestras "zonas" (...) dan la falsa impresión de que todas las especies son necesariamente contemporáneas.

Por estas razones, BUCKMAN (1893, p. 482) propuso el término hemera, cuyo significado etimológico es "día" o "tiempo", para usarlo como indicador cronológico de la secuencia faunística. Las hemeras sucesivas marcarían las menores divisiones consecutivas que la secuencia de especies diferentes permite separar en el máximo desarrollo de estratos. Según las indicaciones hechas en el mencionado trabajo, el término hemera está destinado a marcar el acmé de desarrollo de una o más especies. Dicho término es designado como una división cronológica y, por tanto, no reemplazará al término zona, ni será una subdivisión de ella; es usado en un sentido cronológico como una subdivisión de una edad.

Unos años más tarde, también expresó la relación entre hemeras y edades: las edades están constituídas por muchas hemeras (...) una hemera es un período de tiempo marcado por fenómenos zoológicos particulares (...) y, por tanto, cualquier grupo de hemeras - una edad - también ha de estar similarmente gobernado en su extensión por fenómenos zoológicos (BUCKMAN. & WILSON, 1896, p. 696 bis). El agrupamiento de subdivisiones cronológicas ha de estar controlado por las afinidades zoológicas (...) Por ejemplo, la menor división de tiempo es la hemera; esto es, el tiempo durante el cual una especie particular (...) tiene existencia dominante. Un mayor espacio de tiempo contiene muchas hemeras; pero como es sabido que las hemeras dependen de las especies (...) una edad ha de depender de la duración de series relacionadas de especies (BUCKMAN, 1898, p. 443). La cronología está marcada por numerosos desarrollos faunísticos que, hay razones para pensar, son mundiales al menos en el caso de los ammonites. Los nombres dados a diferentes episodios de la sucesión faunística representan una serie de fenómenos naturales (...). Expresan una secuencia definida de eventos - una secuencia que en la mayoría de los casos ha sido probada por repetidas investigaciones. Por tanto, una serie de nombres zoológicos para las edades, expresando una secuencia de hechos zoológicos, sería más fácil de recordar (...). El género A apareció antes que el género B, que a su vez precede al C.

En otras publicaciones posteriores, BUCKMAN también destacó las diferencias entre los conceptos estratigráficos y cronológicos que utilizaba. Así, en 1910, expresó que una zona puede contener especies que han vivido durante varias hemeras diferentes, y el hallazgo de varias especies en una zona no es una prueba de su contemporaneidad. En 1922, señaló que la demanda de una nomenclatura separada para los términos cronológicos como diferente de los estratigráficos ya había sido repetida en varias ocasiones. Y que ésto parece conveniente, no porque sea deseable un sistema dual de terminología, sino más bien por la esperanza de que en el futuro el sistema basado en zoología suplantaría al basado en el desarrollo de los estratos y en la geografía. En 1924, manifestó que los factores zoológicos permiten la ordenación cronológica de especies que se encuentran en la misma zona, si se aplica el principio de irreversibilidad de la evolución.

En definitiva, durante más de treinta y tres años de investigaciones, Sydney BUCKMAN intentó desarrollar un sistema de clasificación cuyas unidades elementales no eran las zonas, ni los pisos, sino las hemeras. Las unidades elementales de este sistema cronológico no eran cuerpos rocosos caracterizados por su contenido fósil, sino intervalos temporales correspondientes al acmé de especies zoológicas que pueden ser inferidos teniendo en cuenta el principio de irreversibilidad de la evolución orgánica. El término biozona fue introducido por BUCKMAN (1902, pp. 556-557) para denotar "el rango de distribución vertical de los organismos en el tiempo como está indicado por su enterramiento en los estratos"; y, antes de finalizar el artículo, precisó que las zonas indican la extensión horizontal de las especies y son términos geográficos, en tanto que una biozona es "el rango de cualquier organismo o grupo de organismos en los depósitos geológicos, y puede decirse que indica extensión vertical". También manifestó que las faunizonas son, parafraseando a Mr. Marr, cinturones de estratos cada uno de los cuales está caracterizado por un conjunto de

restos orgánicos, que las faunizonas pueden variar horizontal y verticalmente, o que los estratos pueden no variar y mostrar varias faunas sucesivas. Por tanto, termina diciendo dicho autor, las faunizonas son las sucesivas facies faunísticas exhibidas en los estratos. Pero los términos biozona y faunizona apenas fueron utilizados por BUCKMAN, porque no debieron ser relevantes para sus datos cronológicos; y el término biozona fue introducido en un trabajo cuyo objetivo principal era clarificar el concepto de hemera.

Por lo dicho en sus trabajos, los datos necesarios y suficientes para establecer las divisiones sucesivas de su escala cronológica no eran una serie de unidades estratigráficas, fósilíferas y superpuestas, sino una serie de especies filogenéticamente relacionadas y vinculadas entre sí por la relación de precedencia temporal. Una cronología así lograda podría ser de utilidad geológica, pero sólo tendría fundamentos paleontológicos. Mediante estas ideas, S.S. BUCKMAN llegó a proponer 367 hemeras con ammonites jurásicos y sus unidades hemerales fueron usadas principalmente por paleontólogos ingleses durante unos cuarenta años (cf. ROCHE, 1939, p. 21; MOUTERDE, 1952, p. 435; DONOVAN, 1966; SYLVESTER-BRADLEY, 1979).

Sin embargo, BUCKMAN (1902) también expresó que la hemera es el tiempo durante el cual fue depositado lo que se llama zona. Y afirmó (1910, p. 15) que zona y piso son términos estratigráficos, en tanto que los correspondientes términos cronológicos, hemera y edad, son frecuentemente más útiles. Pero lo único que consiguió, al proponer esta equivalencia entre el sistema de clasificación dual y el sistema hemeral, fue aumentar el escepticismo de numerosos geólogos respecto a la validez de las hemeras y atribuir a la zona un significado que no era congruente con las ideas aceptadas por numerosos estratígrafos (cf. JUKES-BROWN, 1903). Ante estas circunstancias, TRUEMAN (1923, p. 200) consideró importante destacar que, de acuerdo con una comunicación personal de BUCKMAN, la zona fue originalmente propuesta como la unidad estratigráfica, del mismo modo que la hemera fue propuesta para ser la unidad cronológica y la especie la unidad zoológica; y, a fin de evitar cualquier utilización arbitraria de las zonas, TRUEMAN sugirió el término epíbole como un término estratigráfico para abarcar los depósitos acumulados durante una hemera. En el mismo trabajo, también precisó que una zona es una división estratigráfica caracterizada por una asociación de fósiles, uno de los cuales es elegido como índice zonal, aunque puede ocurrir que no se encuentre a través de toda la zona, o puede encontrarse más allá de los límites de la zona.

William Joscelyn ARKELL (1926 y trabajos posteriores) fue uno de los autores que más contribuyeron a desacreditar la validez de lo que fue llamada la cronología polihemeral, aunque alabó la claridad con que había sido propuesto el concepto de hemera. Las principales objeciones que fueron aducidas son cuatro:

- 1) considerar la migración de cada especie de ammonites como un hecho casi instantáneo a escala mundial,
- 2) utilizar en la nomenclatura hemeral varias especies nominales que estaban tipificadas por ejemplares que más tarde fueron interpretados como morfotipos de la



misma especie,

- 3) la dificultad para determinar el acmé o tiempo de máximo desarrollo de una especie, y
- 4) ordenar las hemeras de acuerdo con secuencias evolutivas hipotéticas, inferidas aplicando la teoría de la recapitulación y aceptando supuestos ciclos evolutivos, sin tener en cuenta la procedencia exacta de los fósiles.

De estas cuatro objeciones, las tres primeras también podían ser formuladas a otros paleontólogos y estratígrafos contemporáneos que utilizaban el sistema de clasificación dual. Sin duda, la cuarta objeción mencionada fue el argumento principal que condujo a un abandono progresivo de este sistema cronológico, incluso entre los paleontólogos ingleses de la primera mitad de nuestro siglo.

#### 4. SISTEMA BIOESTRATIGRAFICO-CRONOLOGICO

Un año antes de que BUCKMAN propusiera el término biozona, Henry Shaler WILLIAMS (1901) destacó la importancia de distinguir entre el geocrón (expresado en número de pies de espesor de sedimentos estratificados de constitución litológica uniforme) y el biocrón (expresado en términos de presencia en los sedimentos de fósiles de la misma especie, género o familia). Así, por ejemplo, el valor temporal de la Formación Hamilton sería expresado como el Geocrón Hamilton, mientras que el valor temporal de la especie *Tropidoleptus carinatus* sería el Biocrón *Tropidoleptus* (*carinatus*). Según algunos autores posteriores (cf. ARKELL, 1933, p. 22), WILLIAMS intentó aplicar biocronos a las duraciones absolutas de especies, géneros, familias, o cualquier otro grupo taxonómico mayor; sin embargo, otros autores han señalado que estas duraciones estaban basadas en el rango de distribución vertical de los fósiles (cf. STORMER, 1966; HANCOCK, 1977, p. 18). Lo cierto es que el término biocrón fue utilizado con significados muy diferentes, incluso por el autor que lo propuso. Los problemas para averiguar el significado de los términos geocrón y biocrón, así como el de otros términos relacionados, no se deben a la complejidad de la nomenclatura dual, utilizada para distinguir entre los cuerpos rocosos fosilíferos y sus correspondientes intervalos temporales, o porque algunos autores empleaban una nomenclatura independiente para su cronología hemeral, sino porque el propio concepto de fósil fue utilizado con distintos significados según los autores. Esta arbitrariedad en el uso del término fósil influyó también en las discusiones posteriores respecto al significado del término bioestratigrafía.

Louis DOLLO (1904) propuso el término bioestratigrafía para el campo de investigación científica en el que la Paleontología ejerce una influencia significativa sobre la Geología Histórica (DIENER, 1925; TEICHERT, 1958). Unos años más tarde (DOLLO, 1910, p. 386) precisó que había introducido el término bioestratigrafía para llamar de esta manera a lo que habitualmente se entendía por el nombre de Paleontología Estratigráfica, en oposición a la Paleontología pura para la cual reservaba el nombre de Paleontología:

*J'appelle Biostratigraphie ce qu'on entend habituellement sous le nom de Paléontologie stratigraphique, par opposition à la Paléontologie pure, pour laquelle je garde simplement le nom de Paléontologie.*

En la última publicación mencionada, DOLLO también expresó otras ideas relacionadas con el tema; por ejemplo, que el objetivo de la Paleontología es el estudio de los organismos fósiles, es decir, de aquellos que nos han dejado sus huellas en el curso de las edades geológicas. Con estas afirmaciones, por lo tanto, indica que los organismos fósiles son los organismos del pasado; pero, además, en los párrafos siguientes da a entender que un animal no deja de ser un animal por estar preservado en la roca. Y estas ideas eran compartidas por numerosos paleontólogos; así por ejemplo, Othenio ABEL (1911, p. 15), que fue profesor de DOLLO, hizo referencia a las adaptaciones y al modo de vida de los organismos fósiles cuando introdujo el término Paleobiología. La falta de resolución conceptual y lingüística entre los fósiles y las entidades biológicas del pasado, entre los objetos observables en la actualidad y los que pueden ser inferidos teniendo en cuenta unas observaciones concretas, trajo como consecuencia que las zonas (o conjunto de capas paleontológicamente determinables) y algunos términos necesarios para diagnosticar las zonas (por ejemplo, "presencia constante y exclusiva de ciertas especies", "fauna característica", "sucesión faunística" y "acmé de una especie") fueran interpretados con distintos significados según los autores. A nuestro parecer, ésta fue una de las razones principales por las cuales las zonas llegaron a ser interpretadas por algunos autores como unidades con significado espacial o estratal (cf. ARKELL, 1930, 1933, 1956; TEICHERT, 1950, 1954, 1958; PIA, 1930; DIENER, 1908, 1925; BUCKMAN, 1902), en tanto que otros autores atribuyeron a las zonas un significado temporal o cronológico (cf. SCHINDEWOLF, 1944, 1950, 1955, 1957; BRINCKMANN, 1928; FREBOLD, 1922; WEDEKIND, 1916; POMPECKJ, 1914; WAA-GEN, 1864, 1869).

Por otra parte, al descrédito creciente de la cronología hemeral, durante los primeros decenios del siglo XX, se unió un rápido aumento de las discrepancias entre los defensores de las ideas evolucionistas. Las mutaciones y lo que más tarde serían llamadas leyes de Mendel habían sido aceptadas por la mayoría de los biólogos. Ninguna de las teorías disponibles podía dar cuenta del fenómeno de la evolución. Las posibles modalidades evolutivas no estaban nada claras, y menos aún el "origen" de las especies. Para cualquiera de las escuelas evolucionistas de entonces (mutacionistas, neolamarckistas, neodarwinistas, entre otras; cf. TINTANT, 1984) era necesario obtener datos detallados respecto a las sucesiones faunísticas sin presuponer lo que debería ser motivo de una contrastación ulterior. Pero si una especie del pasado es aislada en el tiempo, y no pueden ser reconocidas las especies ancestrales y descendientes en la misma región, entonces es imposible averiguar si el rango de distribución vertical evidenciado localmente representa o no la duración total de existencia de la especie. Con estos planteamientos surgió la necesidad de distinguir entre el rango de distribución vertical de una especie en una localidad o región y su rango total en las diferentes localidades posibles, o entre la duración local de una especie y la duración absoluta de dicha especie. Para estos propósitos analíticos se acuñaron nuevos términos como "Teilzone" (POMPECKJ, 1914; FREBOLD, 1924) que etimológicamente significa parte de una zo-

na y que por razones lingüísticas fue sustituido por el término "Topozone" (MOORE, 1957); ahora bien, el término "teilzone" fue originalmente propuesto con significado cronológico, en tanto que al término "topozone" se le atribuyó un significado estratal.

Durante la primera mitad del siglo XX internacionalmente prevaleció el uso de las (bio-) zonas y los pisos con significado estratal, aunque muchos autores alemanes emplearon estos términos en sentido estrictamente temporal. A partir de los años cuarenta, el avance en los conocimientos biológicos (DOBZHANSKY, 1937; MAYR, 1942; HUXLEY, 1942) y paleontológicos (SIMPSON, 1944) permitió alcanzar la "Síntesis Moderna de la evolución", en la que se tratan diferentes modalidades evolutivas y distintos mecanismos de especiación. Los conocimientos paleontológicos experimentaron un nuevo impulso en su fundamentación, y siguieron desarrollándose divisiones y unidades estratigráficas basadas en sucesiones evolutivas. SCHINDEWOLF (1950, p. 32) propuso que los estudios paleontológicos realizados para establecer una cronología de la sucesión temporal de los organismos o bien una subdivisión temporal teniendo en cuenta los fósiles deberían llamarse Biocronología. La Biocronología sería una parte de la Paleontología, en tanto que la Bioestratigrafía debería ser relacionada con la Estratigrafía:

*(...) die Paläontologie hat es mit Fossilien, nicht aber mit Schichten zu tun. (...) Biochronologie, d.h. Lehre von der zeitlichen Aufeinanderfolge der Lebewesen bzw. Zeitgliederung auf Grund der Fossilien, (...)*

A este respecto cabe destacar la distinción hecha por R. y E. RICHTER (1954) entre Autocronología (para referirse a las divisiones de una serie evolutiva continua) y Alocronología (basada en sucesiones de especies sin relación filogenética real o conocida). SCHINDEWOLF (1950, p. 35) también propuso el término Ecoestratigrafía y destacó la importancia que podrán tener los estudios correspondientes, aunque no fuera posible lograr una "ecocronología". Sin embargo, los términos Biocronología y Ecoestratigrafía han sido utilizados en los trabajos posteriores con otros significados muy diferentes, para conseguir distintos objetivos prácticos, más que cognoscitivos, y por razones operativas.

A mediados del presente siglo, el sistema de clasificación más utilizado para desarrollar la escala de tiempo geológico estaba basado en el llamado orden espacio-temporal de los organismos fósiles que, por aproximaciones sucesivas, era evidenciado a partir del registro estratigráfico. Uno de los geólogos que más contribuyeron en este campo de investigación fue William Joscelyn ARKELL y sobre todo las ideas expresadas en dos de sus obras: "The Jurassic System in Great Britain" (1933) y "Jurassic Geology of the World" (1956).

ARKELL defendió que una zona en el sentido utilizado por OPPEL es un término puramente estratigráfico: una capa o un grupo de capas identificadas con criterios paleontológicos (con un fósil o un conjunto de fósiles). La fauna elegida es el término constante, en tanto que los caracteres litológicos y sus facies faunísticas concomitantes pueden estar sujetas a variación. Las zonas poseen un área de distribución restringida, no son ubiquestas. La relación de sucesión entre dos zonas es la relación de superposición. Tanto en la literatu-

ra inglesa como en la americana una zona era considerada por lo general como una capa tangible o banda de rocas, de cualquier espesor y litología o combinación de litología, pero siempre caracterizada por una asociación de fósiles, de los cuales uno era seleccionado como índice. Los fósiles de la especie índice no necesitan estar confinados en la zona o encontrarse a través de cada una de las partes de la zona, pero si la especie índice y su fauna asociada están ausentes no se puede reconocer como presente a la zona. Los fósiles de cada especie no suelen estar distribuidos por todo el mundo, y es necesario construir una zonación para cada provincia faunística.

Utilizando como criterio de clasificación la duración de las especies, ARKELL distinguió distintos términos cronológicos con sus equivalentes estratales:

Bases de la clasificación	Término cronológico	Término estratal
Acmé o duración de una fauna . . . . .	Sécula o momento . . . . .	Faunizona
Acmé visible o local de una especie . . . . .	Hemera . . . . .	Epíbole
Duración visible o local de una especie . . . . .	Teilcrón . . . . .	Teilzona
Duración absoluta de una especie . . . . .	Biocrón . . . . .	Biozona

Y defendió que la hemera (término cronológico para designar el acmé local de una especie) durante la cual fue formada la epíbole (término estratal correspondiente) puede representar en lugares distintos partes diferentes del biocrón (término cronológico para designar la duración absoluta de una especie); todo lo que podemos ver es una parte, y una proporción desconocida, de cualquier biozona. También destacó que en este sentido algo cambiado es útil el término biozona, porque no tenemos otra palabra para denotar los depósitos formados durante la existencia total de una especie.

Respecto a las relaciones entre pisos y zonas, ARKELL argumentó que las zonas no son subdivisiones de los pisos, porque los pisos son formados a partir de las zonas. Un piso es un concepto artificial transferible a todos los lugares y continentes, pero una zona es una unidad empírica. Como unidades de la única escala mundial de clasificación los pisos han de estar basados en zonas. Aunque d'ORBIGNY citó ciertos ammonites supuestamente característicos de cada piso, los nombres taxonómicos utilizados por él han pasado a tener un significado muy distinto y es más simple establecer las zonas representadas en las formaciones de la localidad tipo, y así llegar a una definición satisfactoria del contenido de cada piso. Cuando una nueva fauna es encontrada en algún lugar, y es desconocida en la localidad tipo, surge el problema de si cae entre dos zonas del mismo piso, pero si cae en el límite entre dos pisos ha de ser clasificada de acuerdo con sus afinidades paleontológicas. Los pisos son abstracciones, que no dependen de la presencia de cualquier especie índice o género índice particular, sino que han sido reconocidos por el grado general de la evolución de la fauna de ammonites como un todo y han sido conectados con el área tipo europea por una cadena de correlaciones alrededor del mundo.

En conclusión, de acuerdo con estas ideas expuestas por ARKELL, las zonas y los pisos eran entendidas como unidades y agrupaciones estratigráficamente justificadas, en tanto que las biozonas y los biocronos eran unidades y divisiones cronológicamente establecidas. Para ambos sistemas de clasificación eran relevantes los datos filogenéticos pero, mientras que cada biozona ha de ser establecida teniendo en cuenta una hipotética relación biológica de precedencia temporal y de parentesco, las zonas pueden ser establecidas simplemente en función de las relaciones temporales evidenciadas entre capas o grupos de capas caracterizadas por su contenido fósil.

Una vez formulado así el significado de los términos zona y biozona, no es de extrañar que la mayoría de los estratígrafos mostraran una clara preferencia por el concepto de zona, en vez de utilizar el concepto de biozona, para desarrollar el sistema de clasificación estratigráfica y la correspondiente escala de tiempo geológico. Ahora bien, nótese que en estas relaciones entre términos estratigráficos y cronológicos expresadas por ARKELL se restringió el uso de las hemeras y epíboles a sus valores determinables, a los valores basados en el llamado acmé visible o local; además, se cambió el significado cronológico original del término *teilzona*, y se atribuyó un sentido biocronológico al término *biocrón*. En consecuencia, el significado del término biozona quedó precisado, pero las biozonas pasaron a ser unidades estratigráficamente incognoscibles (cf. SHAW, 1964, p. 103). De hecho, ARKELL prácticamente no utilizó en sus trabajos los términos biozona, *biocrón*, *teilzona*, *teilcrón*, *epíbole* y *hemera*. Las zonas y los pisos fueron entendidos por la mayoría de los autores europeos como unidades estratigráficas caracterizadas paleontológicamente pero cuyos límites debían ser confirmados y/o refutados en cualquier localidad; esta idea no fue unánimemente aceptada debido a la falta de acuerdo internacional respecto al estatus de los pisos y las zonas. En los años cincuenta del presente siglo, muchos autores europeos defendían que las zonas eran las unidades elementales de la clasificación bioestratigráfica, en tanto que la mayoría de los geólogos americanos consideraban a las zonas como subdivisiones de los pisos.

A partir de los trabajos de ARKELL, algunos autores interpretaron que cada biozona comprende todos los depósitos formados durante el intervalo temporal de existencia de un taxón (cf. SCHINDEWOLF, 1957, 1967, 1970); y con este significado fue propuesto el término *Oppelzona* por STEPHANOV (1958, p. 32). Por el contrario, otros autores argumentaron que el significado así atribuido al término zona la convertía en una unidad estratigráficamente incognoscible, a no ser que fuera restringido su significado para abarcar aquellos depósitos en los cuales la unidad taxonómica particular se encuentra actualmente (HEDBERG, 1957).

La significación del concepto de biozona llegó a ser tan arbitraria que dicho término carecía de utilidad según HEDBERG (1959), por lo cual la Comisión Americana de Nomenclatura (1957) reemplazó este término por el de "range zone" que es una "unidad bioestratigráfica constituida por todos los estratos a través de los cuales se extiende o se encuentra una especie, un género o cualquier otra unidad taxonómica". Y para significar el rango de distribución vertical de una especie en una localidad se propuso el término "local-range-

zone", en vez de "teilzone". También fue propuesto el término "assemblage-zone" para denotar agrupaciones de estratos caracterizados por tener un conjunto de formas fósiles de dos o más taxones. Y por razones lingüísticas se propuso que los términos "assemblage-zone", "range-zone" y "local-range-zone" fueran sustituidos por otros más adecuados que respectivamente podemos traducir como cenozona, acrozona y topozone (MOORE, 1957).

Unos años más tarde, MILLER (1965) criticó las nuevas tendencias estratigráficas e indicó la importancia de las ideas expuestas por ARKELL respecto a la relación entre los pisos y las zonas. También destacó que la única fuente de "señales" cronológicamente significativas son aquellas asociaciones que invariablemente aparecen en la misma relación secuencial con las asociaciones precedentes y siguientes. Y manifestó que los estratos que contienen una de estas asociaciones deberían ser distinguidos como una zona biocronológica.

Sin embargo, en los años sesenta del presente siglo empezaron a desarrollarse nuevas escalas estratigráficas de gran interés geológico porque posibilitaban el establecimiento de nuevas escalas de tiempo sin hacer referencia a fenómenos de evolución orgánica o de descomposición isotópica. Un nuevo campo de investigación llamado Cronoestratigrafía acaparaba ya la atención de numerosos geólogos americanos y europeos.

## 5. SISTEMA CRONOESTRATIGRAFICO

En los años cuarenta del presente siglo varios estratígrafos americanos comenzaron a defender internacionalmente la conveniencia de utilizar tres sistemas de clasificación estratigráfica diferentes, cuyas respectivas unidades eran:

- 1) Unidades estratigráficas de roca, aplicables a escala local o regional ("rock-units" más tarde llamadas unidades litoestratigráficas).
- 2) Unidades estratigráficas-tiempo, de validez universal ("time-rock units", después llamadas unidades cronoestratigráficas).
- 3) Unidades de tiempo, equivalentes a las unidades estratigráficas-tiempo ("time-units", o unidades geocronológicas).

Seis años después de finalizar la Segunda Guerra Mundial, y durante la celebración del Congreso Internacional de Argelia en 1952, la Comisión Internacional de Estratigrafía (I.C.S.) designó la Subcomisión de Terminología Estratigráfica, que luego se llamaría Subcomisión Internacional de Clasificación Estratigráfica, para establecer principios y armonizar la práctica en nomenclatura y terminología estratigráfica. Esta subcomisión presentó sus resultados ante los congresos geológicos internacionales celebrados en México (1956) y Copenhague (1960). Al año siguiente fue publicado el "Statements of Principles and a glossary of terms" (HEDBERG, 1961) que generó muchas controversias internacionales. En 1961 se fundó la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (I.U.G.S.), en la cual fueron integradas la mayoría de las comisiones internacionales y entre ellas la Comisión de Estrati-

grafía. A partir de 1967 la I.U.G.S. y la U.N.E.S.C.O. plantearon un Programa Internacional de Correlación Geológica, cuyo interés fue discutido durante una sesión celebrada en Praga. Con las ideas elaboradas hasta 1972 fue presentada en el Congreso de Montreal la "Guía Internacional de Clasificación, Terminología y usos estratigráficos". Después de más de veinticinco años de trabajo organizado a nivel internacional, y previa publicación de una versión preliminar (HEDBERG, 1972), fue publicada la "International Stratigraphic Guide" para la clasificación, terminología y procedimientos estratigráficos (editada por Hollis D. HEDBERG, 1976).

Aunque el concepto de sección o corte de referencia ya había sido ampliamente utilizado en las clasificaciones estratigráficas y en cronología, el término estratotipo fue propuesto en los "Statements of Principles ..." (HEDBERG, 1961). Y unos años más tarde comenzó a ser desarrollada la idea de "time-boundary stratotypes" para las unidades de clasificación cronoestratigráfica; concretamente cada estratotipo de límite fue concebido como representando un instante de tiempo geológico que marca el comienzo de la división que él caracteriza. Cada unidad cronoestratigráfica está delimitada por instantes de tiempo convencionalmente elegidos, y ellas son teóricamente el mejor medio para realizar dataciones y correlaciones geológicas en cualquier parte del mundo, aunque no son unidades apropiadas para clasificar empíricamente las rocas de cualquier región del mundo. Desde cada estratotipo de límite, del que ha sido designada una referencia fija e invariable (pero no necesariamente inmutable), se puede extender el límite a través de todo el mundo, por medios paleontológicos u otros procedimientos de correlación temporal. La determinación de la equivalencia de edad exacta entre estratos caracterizados por fósiles, o cronotaxis, es por lo general un ideal inalcanzable (WELLER, 1960, p. 565). Las "zonas cronoestratigráficas" o "cronozonas", término que fue propuesto por HENNINGSMOEN (1959, p.80), son unidades no jerárquicas; y otras "zonas", con diferentes prefijos, son entendidas como términos que denotan cuerpos rocosos caracterizados y distinguidos por su contenido fósil. Según la Guía (1976, p. 53-55), biozona es el término general que se emplea para designar cualquier tipo de unidad bioestratigráfica. La unidad bioestratigráfica es definida como conjunto de estratos que se constituyen en unidad por su contenido fósil y carácter paleontológico y que, por consiguiente, es posible diferenciar de los estratos adyacentes. El intervalo total de tiempo representado por una biozona se llama su duración, su alcance cronoestratigráfico o su biocrón. Y de acuerdo con el Código Estratigráfico Norteamericano (N.A.S.C., 1983, Art. 75), una cronozona basada en una unidad bioestratigráfica es una biocronozona.

La mayoría de estas ideas han sido expresadas en los códigos americanos de nomenclatura estratigráfica, que han servido de base para la elaboración de los informes de la Subcomisión Internacional de Terminología Estratigráfica, y gracias al esfuerzo de numerosos autores han sido defendidas y desarrolladas hasta la actualidad (cf. SCHENCK, HEDBERG & KLEINPELL, 1936; HEDBERG, 1937, 1948, 1951, 1961, 1964, 1970, 1971, 1972, 1976; SCHENCK & MULLER, 1941, WHEELER & BEESLY, 1948; A.C.S.N. 1947, 1952, 1961; KRUMBEIN & SLOSS, 1951; DUNBAR & RODGERS, 1957; MOORE, 1958; WHEELER, 1958; I.S.S.C. 1961, 1964, 1970, 1971, 1972; COHEE, 1962; STORMER

1966; HARBAUGH, 1968; MCLAREN, 1970; N.A.S.C. 1983; OWEN, 1987).

Una de las primeras modificaciones del concepto original de unidad cronoestratigráfica surgió por la necesidad de que el tipo de referencia de cualquier unidad de un mismo sistema de clasificación ha de cumplir el requisito de unicidad. En el Congreso Geológico Internacional de 1948 se hicieron los primeros intentos para estandarizar convencionalmente el límite de una unidad estratigráfica; y se acordó la necesidad de estandarizar las divisiones estratigráficas solamente en sus límites, por un solo punto en una sección de referencia, pero la idea fue elaborada por el Grupo de Trabajo del Límite Silúrico-Devónico. Años más tarde, el Comité Británico de Mesozoico (cf. AGER, 1963, p. 1046; 1964, p. 1059) y la Sociedad Geológica de Londres (cf. MILLER, 1966) también propusieron que el punto de referencia fuera colocado en la base de la unidad cronoestratigráfica, no en el horizonte más típico del estratotipo, para evitar lagunas y solapamientos entre divisiones consecutivas; de este modo, el punto de referencia inicial de una división debe ser considerado como el punto de referencia terminal de la división precedente. Este es el llamado principio del punto de referencia (marker point, reference point, point de référence, Bezugspunkt; más tarde llamado "golden spike", para diferenciarlo de los puntos de referencia de las unidades cronoestratigráficas regionales o "silver spike"). Dicho principio fue incluido en el "British Provisional Code on Stratigraphical Nomenclature" (cf. AGER, 1964; GEORGE *et al.*, 1967, p. 81; 1969). La primera decisión internacional para establecer un límite cronoestratigráfico por este procedimiento fue tomada en el XXIV Congreso Geológico Internacional; y el primer "golden spike" fue clavado en una localidad checoslovaca llamada Klonck, para el límite Silúrico-Devónico (cf. AGER, 1973). Este acontecimiento en la Historia de la Geología puede servir para demarcar el relevo del sistema estratal-cronológico por el sistema cronoestratigráfico, con el objetivo principal de justificar la escala de tiempo geológico. El procedimiento de seleccionar un punto de referencia en una "boundary stratotype section" es utilizado en la actualidad por la mayoría de las subcomisiones y grupos de trabajo relacionados con la Comisión de Estratigrafía de la I.U.G.S. Sin embargo, las definiciones ratificadas todavía son relativamente escasas y son entendidas con significados diferentes (cf. HARLAND, 1982; HOLLAND, 1986). No obstante, y gracias a los acuerdos tomados respecto a los puntos de referencia, pueden utilizarse clasificaciones cronoestratigráficas particulares (no-estándar) además de clasificaciones bioestratigráficas, litoestratigráficas o de otros tipos, para llevar a cabo generalizaciones o síntesis regionales.

En los últimos treinta años, además del perfeccionamiento experimentado por la escala radiométrica, se han desarrollado nuevos sistemas cronológicos de uso estratigráfico relacionados con la Teoría de Placas (cf. HALLAM, 1983). Por ejemplo, teniendo en cuenta las tasas de expansión oceánica, ha sido establecida una escala tectogenética de gran utilidad cronométrica para materiales geológicos recientes; y la cronología de inversiones magnéticas ha dado lugar a la llamada escala paleomagnética. Numerosos geólogos han manifestado su convicción de que la escala radiométrica y otros métodos indirectos de datación y calibración estratigráfica permitirán desarrollar una escala de tiempo geológico más precisa, aunque los datos paleontológicos siguen siendo en la actualidad los más resolutivos y fidedignos para la mayoría de los materiales fanerozoicos. Datos geocronológicos recientes res-



pecto a la escala de tiempo geológico han sido editados por SNELLING (1985).

## 6. SISTEMA CRONOESTRATOMERICO

Entre los autores que aceptaron la conveniencia de utilizar los conceptos y principios del sistema cronoestratigráfico pronto surgieron algunas diferencias conceptuales tan importantes como para considerar que han sido generados otros dos sistemas conceptuales de clasificación, aunque relacionados con el sistema cronoestratigráfico. Estos dos nuevos sistemas de clasificación los denominamos: sistema cronoestratomérico y sistema biocronoestratigráfico.

En el sistema cronoestratigráfico, desde la "Guía" de la Subcomisión Internacional de Nomenclatura Estratigráfica hasta el último Código Estratigráfico Norte-Americano (1983), se requiere que los pisos sean definidos por medio de "estratotipos de límite" ("time boundary stratotype") y se considera a los pisos como las unidades de menor rango en la jerarquía de clasificación. Las cronozonas sólo son subdivisiones no jerárquicas de los pisos, "zonas en sentido abstracto". Pero cualquier unidad cronoestratigráfica formal ha de ser definida mediante un estratotipo de límite, en tanto que los intervalos temporales correspondientes a cada unidad cronoestratigráfica estándar son distinguidos como categorías diferentes llamadas unidades geocronológicas.

Por el contrario, algunos autores consideran que los puntos de referencia no definen las unidades de roca, sino los correspondientes intervalos temporales. Y lo que se requiere para identificar una unidad cronoestratigráfica en cualquier lugar del mundo, según este grupo de autores, no es extender las correspondientes láminas temporales desde la localidad tipo, sino contrastar que son de la misma clase de edad que el intervalo temporal definido mediante dos instantes; dichos instantes, a su vez, son inferibles a partir de un par de puntos de referencia particulares. Lo que se define inicialmente en el sistema de clasificación cronoestratomérico no son los cuerpos rocosos de un intervalo temporal concreto, sino un intervalo temporal concreto durante el cual se han formado rocas evidenciadas al menos en una localidad. Además, los partidarios de este sistema de clasificación también defienden que los pisos deben ser definidos en términos de zonas estándar y que éstas últimas son las unidades elementales para justificar la escala estratigráfica internacional que denominan Escala Estratigráfica Estratomérica Estándar. Las divisiones de dicha escala, al igual que en el sistema cronoestratigráfico, aspiran a ser establecidas por acuerdo internacional más que a ser descubiertas. Este sistema conceptual de clasificación estratigráfica ha sido defendido principalmente por HARLAND (1982, 1978, 1977, 1975, 1973) utilizando el término "time-rock model", para diferenciarlo del llamado "rock-time model" propuesto por las Guías, la I.S.S.C. y los Códigos Americanos.

La distinción entre estratomeros y cronomeros también se encuentra en otros trabajos de distintos autores ingleses (por ejemplo, en los de GEORGE *et al.* 1969, 1967; SYLVESTER-BRADLEY, 1967; MILLER, 1966). Los cronomeros son intervalos de tiempo, en

tanto que los estratomeros son divisiones de rocas formadas en cronómeros distintos. Los partidarios del sistema cronoestratigráfico admiten que las unidades estratigráficas fueron descritas originalmente donde en efecto había unidades de roca locales, incluso cuando se pretendió que dichas unidades tuvieran significado global; pero afirman que en la actualidad sería más conveniente considerar a las unidades cronoestratigráficas como divisiones de tiempo. Ante esta disyuntiva, HARLAND destaca que si no se desea afrontar el problema o resolver el conflicto es posible actuar con una solución de compromiso aceptando que tanto los cronómeros como los estratomeros son derivados a partir de puntos de referencia estándar.

## 7. SISTEMA BIOCRONOESTRATIGRAFICO

Muchos autores han aceptado la validez de la mayoría de los conceptos del sistema cronoestratigráfico y la utilidad de las llamadas unidades (geo-)cronológicas pero, en contra de algunos principios formulados por la I.S.S.C., afirman que las unidades cronoestratigráficas elementales no son los pisos sino las zonas estándar. Las localidades tipo para las zonas establecidas con criterios paleontológicos fueron introducidas por CALLOMON (1965), y con la utilización de este concepto se implantó el de zona estándar. Para los defensores de este sistema de clasificación que llamamos biocronoestratigráfico, las zonas no son entendidas como meras abstracciones conceptuales o como divisiones informales de los pisos, sino como cuerpos rocosos cuya realidad física es conocida al menos en un lugar. En cada localidad tipo, la base de la primera zona estándar de un piso define la base del piso; y, si éste es el primero de un sistema o de una era, el tipo define igualmente la base del sistema o de la era. La Bioestratigrafía es el instrumento de correlación más útil para los materiales fanerozoicos, pero, según las circunstancias, algunas rocas pueden ser datadas cronométricamente de manera más precisa que con criterios bioestratigráficos o viceversa. En cualquier caso, un punto definido en la roca representa de manera precisa un punto definido en tiempo. Las rocas son en última instancia la referencia objetiva tanto para el estudio de los fenómenos naturales de la Historia geológica como para la evidencia de edad. La adecuación de un límite puede decidirse con criterios bioestratigráficos, antes de ser acordado; de hecho, las unidades bioestratigráficas han sido el fundamento de la Escala Cronoestratigráfica Estándar, aunque en sí mismas las biozonas no son zonas estándar. Cualquier biozona es significativa de tiempo pero en sí misma no es una zona estándar o una cronozona. Las zonas estándar, a diferencia de las biozonas, son unidades del mismo sistema de clasificación que los pisos. Esta problemática ha sido tratada en los siguientes trabajos: TEICHERT, 1958; AGER, 1963, 1964, 1973, 1983; HOLLAND, 1964, 1977, 1978, 1983, 1986; CALLOMON, 1965, 1984; SYLVESTER-BRADLEY, 1967; GEORGE *et al.* 1967, 1969; ZIEGLER, 1967, 1971, 1973; NEWELL, 1972; McLAREN, 1970, 1978; HARLAND *et al.* 1972, 1973; MORTON *et al.* 1974; POMEROL *et al.* 1980; ZHAMOIDA 1980; REY, 1983.

Varios autores han criticado el sistema de clasificación llamado biocronoestratigráfico, por ser incompatible con los principios cronoestratigráficos. Las cronozonas no pueden

ser jerarquizadas junto a los pisos, ni las biozonas pueden llegar a ser cronozonas aunque se compruebe su eficacia para correlación. La Bioestratigrafía y la Cronoestratigrafía son dos sistemas de clasificación estratigráfica diferentes (JOHNSON, 1981, 1979).

Por otra parte, numerosos autores han rechazado la validez del sistema cronoestratigráfico para desarrollar la escala de tiempo geológico que comenzó a ser construida hace más de un siglo. Los detractores de la Cronoestratigrafía han alegado entre otros los siguientes argumentos en contra:

1) La Cronoestratigrafía es innecesaria. Las divisiones de la Escala Estratigráfica Internacional habrían sido tradicionalmente concebidas como capítulos de la Historia geológica y/o como divisiones justificadas con criterios paleontológicos. Las unidades (bio-)estratigráficas de uso tradicional son preferibles a las unidades cronoestratigráficas para ser utilizadas como unidades de un sistema de clasificación internacional y, además, son suficientes para obtener y desarrollar la escala de tiempo geológico; sólo se requieren dos sistemas de clasificación ya aceptados internacionalmente desde principios de siglo: las unidades (bio-)estratigráficas y las unidades (geo-)cronológicas. Regionalmente también pueden utilizarse otros sistemas de clasificación basados, por ejemplo, en caracteres litológicos y/o paleontológicos.

2) La necesidad teórica y metodológica de establecer puntos de referencia que definen superficies isócronas es falsa. Es un error lógico pretender que las unidades cronoestratigráficas sean definidas por referencia a intervalos de tiempo que son independientes de los cuerpos rocosos si dichos intervalos temporales han de ser derivados necesariamente a partir de los cuerpos rocosos. Las unidades de clasificación estratigráfica deberían estar basadas en resultados de acontecimientos reales (físicos y/o biológicos) pero no en tiempo: podemos inferir relaciones espacio-temporales a partir de las cosas reales, pero la afirmación inversa no es cierta. Además, el tipo de cualquier unidad de clasificación estratigráfica, al igual que ocurre en las clasificaciones de la sistemática biológica, es útil como referencia coordinativa o como portador del nombre, pero no puede ser utilizado para definir los límites de la unidad. Los estratotipos de límite, los puntos de referencia o los horizontes paleontológicos de referencia son convenientes por razones metodológicas, pero no definen las unidades estratigráficas; sólo sirven para garantizar que cualquier unidad nominal tenga correlato real al menos en una localidad conocida, y posibilitan la contrastación del significado de cualquier unidad estratigráfica propuesta y nombrada. Por esta razón, la designación de una localidad tipo, de un horizonte paleontológico de referencia o de un punto de referencia facilita la contrastación del significado de la correspondiente unidad pero no la convierte en una unidad más precisa. Por otra parte, la Escala Geocronológica ha podido ser construida gracias al descubrimiento de acontecimientos únicos y de procesos irreversibles (de evolución orgánica y/o de descomposición isotópica), no por acuerdo de unos puntos de referencia en unos estratotipos. Las unidades bioestratigráficas que justifican dicha escala están basadas en datos paleontológicos referentes a una serie de acontecimientos evolutivos concretos, no en una serie de localidades y puntos de referencia convencionalmente elegidos.

3) Los pisos tradicionalmente han sido unidades bioestratigráficas. Los pisos del Fanerozoico fueron establecidos con criterios paleontológicos y tradicionalmente han sido tratados como unidades bioestratigráficas. Los pisos llegaron a ser agrupamientos de biozonas, y los límites de los pisos eran considerados como la base o el techo de una biozona concreta. Los pisos pueden ser identificados en la actualidad mediante más de un sistema de biozonación y con otros criterios no-paleontológicos, pero aunque ésto mejora su utilidad cronológica no autoriza a considerarlos como unidades de un sistema de clasificación no-bioestratigráfica.

4) La unidad bioestratigráfica básica es la (bio-)zona. Las biozonas son cuerpos rocosos caracterizados por su contenido fósil y, si los fósiles han sido adecuadamente seleccionados entre grupos de corta duración, amplia distribución geográfica, amplia independencia de las facies, entre otros factores a tener en cuenta, entonces dichas biozonas permiten justificar las correspondientes divisiones cronológicas. Las zonas estándar o las zonas biocronológicas son equivalentes a las zonas utilizadas por OPPEL; el significado temporal de estas zonas estándar o biocronozonas bien establecidas está ligado directamente a la irreversibilidad de la evolución orgánica.

Entre los numerosos trabajos que han tratado esta problemática mencionaremos los siguientes: RODGERS, 1954; JELETZKY, 1956, 1965; DUNBAR & RODGERS, 1957, 1963; SEITZ, 1958; HUPE, 1960; KUMMEL, 1961; SDZUY, 1962; NEWELL, 1962, 1967, 1972; WANG, 1964, 1973; WATERHOUSE, 1964, 1974, 1976; CALLOMON, 1965, 1984; MILLER, 1965, 1966; BERRY, 1966; CALLOMON & DONOVAN, 1966, 1974, 1977; DONOVAN, 1966; HANCOCK, 1966; 1977; KITTS, 1966; SCHINDEWOLF, 1968, 1970; WIEDMANN, 1968, 1970, 1971; VAN HINTE, 1969; HOLDER & ZEISS, 1972; GEYER, 1973; CARIOU *et al.* 1974; KRASSILOV, 1974, 1978; GUEX, 1977, 1978, 1979; MURPHY, 1977; BERGGREEN & VAN COUVERIN, 1978; SYLVESTER-BRADLEY, 1979; DAVAUD, 1982; WATSON, 1983; GUEX & DAVAUD, 1984; MIAL, 1985; SCOTT, 1985; GECZY, 1985, 1986; FERNANDEZ LOPEZ, 1986.

Sin embargo, todas estas objeciones no han logrado impedir que el sistema cronoestratigráfico sea cada vez más utilizado. Y en la actualidad numerosos geólogos son partidarios de combinar las diversas escalas estratigráficas disponibles, tales como las bioestratigráficas, litoestratigráficas, vulcanoestratigráficas y magnetoestratigráficas, para obtener en definitiva una escala multiestratigráfica, la llamada escala holoeestratigráfica (WALLISER, 1986). Lo cierto es que los términos piso y zona, cuya validez fue inicialmente justificada con criterios exclusivamente paleontológicos, pueden ser definidos y utilizados en la actualidad sin hacer uso de conceptos paleontológicos. No cabe duda de que elegir convencionalmente "instantes" para establecer las divisiones de una escala geocronológica, sin necesidad de averiguar las relaciones temporales entre organismos del pasado, es de utilidad geológica; ahora bien los datos referentes a las relaciones espacio-temporales entre distintas entidades biológicas del pasado siguen siendo necesarios tanto para la Paleontología básica como para la Paleontología aplicada.

## CONCLUSIONES

Durante el siglo pasado y el actual han sido desarrollados varios sistemas conceptuales de clasificación para justificar una escala de tiempo geológico. La mayoría de estos sistemas conceptuales difieren entre sí por sus criterios de clasificación, su metodología y sus presupuestos epistemológicos. Entre los presupuestos que han sido sucesivamente modificados cabe destacar los referentes a la epistemología del tiempo y del espacio. Además, cada uno de estos sistemas conceptuales no ha sido unánimemente utilizado para reemplazar a otro anterior y, en consecuencia, el número de sistemas vigentes ha sido cada vez mayor durante el presente siglo. En la actualidad, la conveniencia geológica del llamado sistema cronoestratigráfico, que posibilita una contrastación más variada de la escala de tiempo geológico, está justificada por razones metodológicas. Pero la utilidad paleontológica y geológica del llamado sistema bioestratigráfico también está justificada por razones metodológicas. La tarea más importante para el futuro, por tanto, no es criticar o rechazar uno de estos dos sistemas sino desarrollar ambos y evitar las homonimias.

Respecto a la Bioestratigrafía y la Biocronología conviene destacar que son sistemas conceptuales distintos, si bien ambos posibilitan la contrastación de algunos conceptos clasificatorios como, por ejemplo, el de biozona. Estos dos sistemas conceptuales, que han presupuesto y presuponen la validez de teorías pero que en sí mismos no son teorías, difieren entre otras cosas por sus objetos de referencia. De acuerdo con los significados originales, la Bioestratigrafía se ocupa de los cuerpos rocosos fosilíferos, en tanto que la Biocronología se refiere a los fósiles y/o a las entidades biológicas del pasado. Sin embargo, uno de los motivos principales de las controversias respecto al significado de los términos (bio)zona, bioestratigrafía y biocronología ha sido la falta de resolución conceptual y lingüística para distinguir entre los fósiles y las entidades paleobiológicas. Según numerosos autores del presente siglo, los fósiles son organismos del pasado que han cambiado de estado, sin dejar de ser organismos. Y debido a la falta de resolución conceptual entre los objetos observables en la actualidad y las entidades biológicas del pasado, las clasificaciones bioestratigráficas han sido utilizadas para expresar las relaciones espacio-temporales entre diferentes cuerpos rocosos fosilíferos y también entre distintas entidades paleobiológicas; es decir, una misma clasificación bioestratigráfica ha llegado a ser utilizada para referir objetos de distinta naturaleza; cuerpos rocosos actuales y entidades paleobiológicas. Por razones teóricas y metodológicas, la Bioestratigrafía debe ser entendida en la actualidad como Paleontología aplicada, en tanto que la Biocronología debe seguir siendo Paleontología básica o pura. Y la Biocronología tiene que desarrollar un sistema de clasificación independiente del sistema de clasificación bioestratigráfico, porque se necesitan conceptos biocronológicos para disponer de conceptos bioestratigráficos. Afirmar lo contrario implicaría defender la falacia de que los conocimientos básicos pueden ser abstraídos de los conocimientos aplicados. Es cierto que el término biocronología fue propuesto más tarde que el término bioestratigrafía; pero éste es un ejemplo más para la Historia de la Ciencia, en el cual el orden histórico de descubrimiento de unos conceptos o el orden histórico en el que han sido propuestos sus correspondientes términos no concuerda con el orden lógico entre dichos conceptos.

## BIBLIOGRAFIA

Por razones de espacio, no incluimos en la presente relación bibliográfica aquellas referencias que pueden encontrarse en los trabajos de HEDBERG (1976), SCHINDEWOLF (1950) o ZITTEL (1901).

- (1) ABEL, O. 1911.- *Grunzüge der Paleobiologie der Wirbeltiere*. 708 p. (E. Schweizerbart'sche Verlag.) Stuttgart.
- (2) AGER, D.V. 1983.- The stratigraphic code and what it implies. En: W.A. BERGGREN & VAN COUVERING (Eds.).- *Catastrophes and Earth History: the New Uniformitarianism*: 91-100. (Univ. Press) Princeton.
- (3) BERRY, W.B.N. 1970.- On Teaching Stratigraphic Paleontology - The Application of Paleontology in Earth History. *Proc. North American Paleontol. Convention*, (1969), Part A, Teaching Paleontology: 12-22.
- (4) BERRY, W.B.N. 1983.- On the relationship between ecostratigraphy and zonal stratigraphy. *Newsl. Stratigr.*, 12, 2: 84-97.
- (5) CALLOMON, J.H. 1984.- The Measurement of Geological Time. *Proceedings Royal Institution Great Britain*, 56: 65-99.
- (6) CALLOMON, J.H. 1985.- Biostratigraphy, chronostratigraphy and all that - again. *Internat. Symp. Jurassic Stratigraphy*, Erlangen (1984): 611-625.
- (7) DAVAUD, E. 1982.- The Automation of Biochronological Correlation. En: J.M. CUBITT & R.A. REYMENT (Eds.).- *Quantitative Stratigraphic Correlation*: 85-99. (J. Wiley & Sons). London.
- (8) DOBZHANSKY, Th. 1937.- *Genetics and the origin of species*. 354 p. (Columbia Univ.) New York.
- (9) ELLENBERGER, F. 1981.- Un exemple d'éclatement sémantique: origine et histoire du term Horizon. *C.R. somm. Soc. géol. France*, 1: 10-13.
- (10) FERNANDEZ LOPEZ, S. 1986.- Diversidad nomenclatorial y unicidad conceptual de las llamadas zonas oppelianas. *Memorias I Jornadas de Paleontología*, Zaragoza (1985): 97-106.
- (11) GECZY, B. 1985.- The actual problems of the biostratigraphy: the main types of biozones. *Ann. Univ. Sci. Budapest. Rolando Eötvös Nominate*, Geol., 25, (1983): 131-138.
- (12) GECZY, B. 1986.- Changes of the view of evolution and the practice of stratigraphy. *Annales*, 26: 129-139.
- (13) GUEx, J. 1977.- Une nouvelle méthode d'analyse biochronologique. Note préliminaire. *Bull. Soc. Vand. Sci. Nat.*, n° 351, 73: 309-322.

- (14) GUEx, J. 1979.- Terminologie et méthodes de la biostratigraphie moderne: commentaires critiques et propositions. *Bull. Soc. Vand. Sci. Nat.*, n° 355, 74: 169-216.
- (15) GUEx, J. & DAVAUD, E. 1984.- Unitary association method; use of graph theory and computer algorithm. *Geoscience*, 10: 69-96.
- (16) HALLAM, A. 1983.- *Great Geological Controversies*. 182 p. (Oxford Univ. Press) Oxford.
- (17) HANCOCK, J.M. 1977.- The Historic Development of Concepts of Biostratigraphic Correlation. En: E.G. KAUFFMAN & J.E. HAZEL (Eds.).- *Concepts and Methods of Biostratigraphy*: 3-22. (D. Hutchinson & Ross) Stroudsburg.
- (18) HARLAND, W.B. 1972.- A concise guide to stratigraphical procedure. *Jl. geol. Soc.*, 128: 295-305.
- (19) HARLAND, W.B. 1977.- Essay Review: International Stratigraphic Guide, 1976. *Geol. Mag.*, 144: 229-235.
- (20) HARLAND, W.B. 1978.- Geochronologic Scales. En: G.V. COHEE; M.F. GLAESSNER & H.D. HEDBERG (Eds.).- *Contributions to The Geologic Time Scale. Studies in Geology*, 6: 9-32.
- (21) HARLAND, W.B.; COX, A.V.; LLEWELLYN, P.G.; PICKTON, C.A.G.; SMITH, A.G. & WALTERS, R. 1982.- *A geologic time scale*. 131 p. (Cambridge Univ. Press) Cambridge.
- (22) HEDBERG, H.D. 1978.- Stratotypes and an International Geochronologic Scale. En: G.V. COHEE; M.F. GLAESSNER & H.D. HEDBERG (Eds.).- *Contributions to The Geologic Time Scale. Studies in Geology*, 6: 33-38.
- (23) HOLDER, H. 1983.- FRIEDRICH AUGUST QUENSTEDT (1809-1889) und die Evolutionstheorie. *Paläont. Z.*, 57, 3/4: 325-328.
- (24) HOLLAND, C.H. 1978.- Stratigraphical classification and all that. *Lethaia*, 11: 85-90.
- (25) HOLLAND, C.H. 1983.- Soviet and British Stratigraphical classifications compared. *J. Geol. Soc. London*, 140: 845-847.
- (26) HOLLAND, C.H. 1986.- Does the golden spike still glitter?. *J. Geol. Soc. London*, 143: 3-21.
- (27) HOLLAND, C.H.; AUDLEY-CHARLES, M.G.; BASSET, M.G.; COWIE, J.W.; CURRY, D.; FITCH, F.J.; HANCOCK, J.M.; HOUSE, M.R.; INGHAM, J.K.; KENT, P.E.; MORTON, N.; RAMSBOTTOM, W.H.C.; RAWSON, P.F.; SMITH, D.B.; STUBBLEFIELD, C.J.; TORRENS, H.S.; WALLACE, P. & WOODLAND, A.W. 1978.- A guide to stratigraphical procedure. *Geol. Soc. London, Spec. Rep.*, 10: 18 p.
- (28) HUXLEY, J. 1942.- *Evolution: the modern synthesis*; 645 p. (Allen & Unwin) London.

- (29) JACOB, F. 1970.- *La logique du vivant (Une histoire de l'hérédité)*. 349 p. (trad. 1977, Ed. Laia, Barcelona).
- (30) JOHNSON, J.G. 1979.- Intent and reality in biostratigraphic zonation. *J. Paleontology*, 53: 931-942.
- (31) JOHNSON, J.G. 1981.- Chronozones and other misapplications of chronostratigraphic concepts. *Lethia*, 14: 285-286.
- (32) JOHNSON, J.G. & NIEBUHR, W.W. 1976.- Anatomy of an assemblage zone. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 87, 12: 1693-1703.
- (33) KRASSILOV, V. 1978.- Organic evolution and natural stratigraphical classification. *Lethia*, 11, 2: 93-104.
- (34) KUMMEL, B. 1961. *History of the Earth*. An introduction to Historical Geology. 610 p. (W.H. Freeman) San Francisco.
- (35) LANGER, W. 1982.- Ernst Friedrich von Schlotheim (1764-1832). Zur Erinnerung an seinen 150 Todestag. *Natur und Museum*, 112: 77-80.
- (36) MARTIN, G. 1982. Fossilien als Urbilder Goethescher Natur - und Weltanschauung - Goethe und die Paläontologie. *Natur und Museum*, 112: 98-110.
- (37) MAYR, E. 1942.- *Systematics and the origin of species, from the viewpoint of a zoologist*. 334 p. (Columbia Univ.) New York.
- (38) McLAREN, D.J. 1978.- Dating and Correlation, A. Review. En: G.V. COHÉE; M.F. GLAESSNER & H.D. (Eds.).- *Contributions to The Geologic Time Scale. Studies in Geology*, 6: 1-8.
- (39) MIALL, A.D. 1985.- *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. (Springer) New York.
- (40) MORTON, N. 1974.- The Definition of Standard Jurassic Stages. *Coll. Jurassique Luxembourg* (1967). *Mem. B.R.G.M.*, 75 (1971): 83-93.
- (41) MOUTERDE, R. 1953.- Etudes sur le Lias et le Bajocien des Bordures Nord et Nord-Est du Massif Central français. *Bull. Serv. Carte Géol. France*, n° 236, 50 (1952): 63-521.
- (42) MURPHY, M.A. 1977.- On time-stratigraphic units. *J. Paleontology*, 51: 213-219.
- (43) ~~MURPHY, M.A.~~ - North American Commission on Stratigraphic Nomenclature 1983.- North American Stratigraphic Code. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geologist*, 67: 841-875.
- (44) OWEN, D.E. 1987.- Usage of Stratigraphic Terminology in Papers, Illustrations, and Talks. *J. Sedimentary Petrology*, 57: 363-372.
- (45) REIF, W.E. 1983.- HILGENDORF's (1863) dissertation on the Steinheim planorbids (Gastropoda; Miocene): The development of a phylogenetic research program for Paleontology. *Paläont. Z.*, 57, 1/2: 7-20.
- (46) REY, J. 1983.- *Biostratigraphie et Lithostratigraphie*, principes fondamentaux, méthodes et applications. 181 p. (Technip) Paris.



- (47) RICHTER, R. & E. 1954.- Die Trilobiten des Ebbe-Sattels und zu vergleichende Arten (Ordovizium, Gotlandium / Devon). *Abh. senck. naturf. Ges.*, 488: 1-76.
- (48) ROCHE, P. 1939.- Aalénien et Bajocien de Mâconnais et de quelques régions voisins. *Trav. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon*, 29: 1-355.
- (49) ROWE, A.W. 1899.- An analysis of the genus *Micraster* as determined by rigid zonal collecting from the zone of *Rhynchonella cuvieri* to that of *Micraster coranguinum*. *Quart. J. Geol. Soc. London*, 55: 494-547.
- (50) RUDWICK, M.J.S. 1972.- *The Meaning of Fossils*. Episodes in the History of Palaeontology. 278 p. (Neale Watson Acad. Publ., Ed. 1976) New York.
- (51) SCHINDEWOLF, O.H. 1950.- *Grundlagen und Methoden der paläontologischen Chronologie*. 152 p. (Borntraeger) Berlin.
- (52) SCOTT, G.H. 1985.- Homotaxy and biostratigraphical theory. *Palaeontology*, 28: 777-782.
- (53) SIMPSON, G.G. 1944.- *Tempo and Mode in Evolution*. 237 p. (Columbia Univ.) New York.
- (54) SNELLING, N.J. (Ed.) 1985.- *The Chronology of the Geological Record*. 343 p. (Blackwell Scient. Publ.) Oxford.
- (55) SYLVESTER-BRADLEY, P.C. 1979.- Biostratigraphy. En: R.W. FAIRBRIDGE & D. JABLONSKI (Eds.). *The Encyclopedia of Paleontology*: 94-99 (D. Hutchinson & Ross) New York.
- (56) TINTANT, H. 1984.- Cent ans après Darwin, continuité ou discontinuité dans l'Evolution. *Coll Internat. C.N.R.S.*, n° 330: 25-37.
- (57) VAN HINTE, J.E. 1969.- The nature of biostratigraphic zones. *Proc. Inter. Conf. Planktonic Microfossils*, Geneva (1967): 267-276.
- (58) WALLISER, O.H. 1986.- The I.G.C.P. Projet 216 "Global Biological Events in Earth History". *Lecture Notes in Earth Sciences*, 8: 1-4.
- (59) WATERHOUSE, J.B. 1976.- The significance of ecostratigraphy and need for biostratigraphic hierarchy in stratigraphic nomenclature. *Lethaia*, 9: 317-325.
- (60) WATSON, R.A. 1983.- A critique chronostratigraphy. *Am. J. Sci.*, 283: 173-177.
- (61) ZHAMOIDA, A. 1984.- Comparing the Soviet Stratigraphic Code with the International Guide. *Episodes*, 7: 9-11.
- (62) ZIEGLER, B. 1974.- Grenzen der Biostratigraphie im Jura und Gedanken zur stratigraphischen Methodik. *II Coll. Jurassique*. Luxembourg (1967). *Mém. B.R.G.M.*, 75 (1971): 35-67.
- (63) ZITTEL, K.V. 1901.- *History of Geology and Palaeontology*. 562 p. (Wheldon & Wesley, Ed. 1962) London.